

Рассеяние фемтосекундного лазерного импульса сферическими полидисперсными частицами: моделирование методом Монте-Карло

Ю.Э. Гейнц, А.А. Землянов, Г.М. Креков, Г.Г. Матвиенко*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 2.02.2009 г.

Представлены результаты численного решения методом Монте-Карло нестационарного уравнения переноса радиации в оптически плотной дисперсной среде. В качестве модели среды предполагалось присутствие полидисперсного жидкокапельного облака. Ультракороткий интенсивный лазерный импульс в процессе распространения стимулирует нестационарные переходные процессы в объеме рассеивающей частицы даже в режиме линейного взаимодействия. В результате этого происходит заметная временная трансформация оптических характеристик среды, в первую очередь индикатрисы рассеяния. Для расчета временной динамики индикатрисы рассеяния прозрачной сферической частицы использовалась нестационарная теория Ми, основанная на Фурье-преобразовании первоначального светового импульса и линейной стационарной теории дифракции на сфере. Рассчитанные оптические характеристики использовались далее как входные параметры при решении задачи многократного рассеяния фемтосекундного импульса в жидкокапельном облаке методом Монте-Карло. Предварительные результаты расчетов указывают на возможность заметного увеличения сигнала обратного рассеяния за счет динамических изменений индикатрисы рассеяния, приводящих к уменьшению фактора анизотропии.

Ключевые слова: рассеяние света, фемтосекундный импульс, метод Монте-Карло; light scattering, femtosecond pulse, Monte Carlo method.

Введение

В настоящее время импульсные фемтосекундные лазеры, пройдя этап разнообразных лабораторных экспериментов, появляются на рынке оптической продукции как новый эффективный инструмент, расширяющий возможности фундаментальных и прикладных исследований. Они находят все более широкое применение в оптической когерентной томографии [1, 2] и биомедицинской оптике [3].

Особенности взаимодействия ультракоротких импульсов с природными дисперсными средами создают физическую основу для использования фемтосекундных лазеров в атмосферно-оптических исследованиях, позволяя снять ряд ограничений, накладываемых на параметры излучения тепловой нелинейностью и оптическим пробоем воздуха [4]. Далее в постановке задачи мы ограничимся режимом линейного распространения, полагая, что пиковая интенсивность импульса не превышает границ филаментации, т.е. уровня 10^{12} – 10^{13} Вт/см². Однако и в этом случае с укорочением длительности лазерного импульса существенно нестационарным стано-

вится сам процесс рассеяния на частицах, размеры которых сопоставимы с геометрическими размерами импульса [5]: появляется временной сдвиг во временных и угловых профилях падающего и рассеянного излучения, изменяются интегральные характеристики рассеяния [6].

Данная статья является продолжением наших теоретико-численных исследований [7–9], связанных с оценкой влияния указанных динамических процессов на пространственно-временные характеристики поля многократного рассеяния в монодисперсном жидкокапельном облаке.

Как отмечалось ранее [5, 7], характерной особенностью сверхкороткого лазерного импульса является его широкополосность. Ширина спектра импульса $\Delta\omega_p$ обратно пропорциональна длительности t_p и может составлять $\Delta\omega_p \sim 10^{15} \div 10^{16}$ Гц при $t_p \approx 10^{-14} \div 10^{-15}$ с. Столь широкий частотный диапазон позволяет осуществить в частице одновременное возбуждение большого числа высокочастотных собственных электромагнитных колебательных мод (моды «шепчущей галереи» — ШГ), существование которых было зафиксировано экспериментально и подтверждено теоретическими расчетами [10, 11]. При совпадении частоты падающей на частицу световой волны с частотой одной из ее собственных мод происходит резонансное возбуждение внутреннего оптического поля, причем его пространственно-временное

* Юрий Эльмарович Гейнц (ygeints@iao.ru); Александр Анатольевич Землянов (zaa@iao.ru); Георгий Михайлович Креков (gm@iao.ru); Геннадий Григорьевич Матвиенко (mgg@iao.ru).